动 物 学 研 究 2004, Oct. 25 (5): 410-414
Zoological Research

CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853

蝘蜓和蓝尾石龙子幼体食物同化的热依赖性

许雪峰*，张建龙
(滁州学院 化学生物系，安徽 滁州 239012)

摘要：用采自安徽滁州琅琊山的蝘蜓（*Sphenomorphus indicus*，头体长 42.8~54.4 mm，$n=12$）和蓝尾石龙子（*Eumeces elegans*，头体长 43.9~57.3 mm，$n=10$）幼体，研究温度（24~32 ℃）对蝘蜓和蓝尾石龙子幼体食物通过时间、摄食量、表观消化系数（ADC）、同化效率（AE）和生长的影响。结果显示，24~30 ℃范围内，蝘蜓和蓝尾石龙子幼体的食物通过时间随温度的升高而缩短，超过 30 ℃则基本不变。蝘蜓幼体：30 和 32 ℃摄食量和生长小于 24~28 ℃；24~30 ℃ ADC、AE 随温度升高而下降，但 32 ℃时又升高。蓝尾石龙子幼体：24~26 ℃摄食量随温度升高而增加，26 ℃后随温度升高显著下降；24~28 ℃ ADC、AE 大于 30 和 32 ℃，呈现出随温度升高而下降的趋势；26 ℃生长最快。结果表明，蝘蜓和蓝尾石龙子幼体的摄食和同化能力均低于相应的成体。

关键词：蝘蜓；蓝尾石龙子；幼体；温度；食物同化
中图分类号：Q959.6 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2004)05-0410-05

Thermal Dependence of Food Assimilation in Two Juvenile Skinks, *Sphenomorphus indicus* and *Eumeces elegans*

XU Xue-feng*, ZHANG Jian-long
(*Department of Biochemistry, Chuzhou University, Chuzhou 239012, China*)

Abstract: We studied the thermal dependence of food assimilation in two juvenile skinks, *Sphenomorphus indicus* (snout-vent length: 42.8-54.4 mm, $n=12$) and *Eumeces elegans* (snout-vent length: 43.9-57.3 mm, $n=10$), from a population in Chuzhou, Anhui, eastern China. The temperature of experiments was set 24, 26, 28, 30 and 32 ℃, respectively. Food passage time, daily food intake, apparent digestive coefficient (ADC), assimilation efficiency (AE) and body-mass change of two skinks were affected by temperature. The food passage time decreased with increase in temperature within the range from 24 to 30 ℃ and then nearly leveled at higher temperatures in two juvenile skinks. Daily food intake, body-mass change of juvenile *S. indicus* were lower at 30 and 32 ℃ than those from 24 to 28 ℃, ADC and AE decreased with increase in temperature within the range from 24 to 30 ℃ and increased at 32 ℃. Daily food intake of juvenile *E. elegans* increased from 24 to 26 ℃, and decreased at temperatures higher than 26 ℃. ADC and AE were higher in body temperature within the range from 24 to 28 ℃ than those at 30 and 32 ℃. Body-mass change was apparently greater at 26 ℃ than at other lower or higher temperatures. Our data indicate that the food assimilation of the juvenile *S. indicus* and *E. elegans* are lower than the adults.

Key words: *Sphenomorphus indicus*; *Eumeces elegans*; Juvenile; Temperature; Food assimilation

作为爬行动物一项重要生理功能，摄食获得的物质和能量可用于组织生长和后代输出（Nagy, 1983）。爬行动物的摄食和同化能力显著受温度影响，反映了动物对特定温度条件作出的权衡和妥协。在一定温度范围内，相对较高的体温有利于爬行动物同化能力较好地表达（Huey & Kingsolver, 1989）。爬行动物摄食和同化能力的热敏感性有一定程度的种间差异，而且任何特定温度都不能使得这些生理功能发挥到最大水平（Huey, 1982; van Damme et al, 1991; Ji et al, 1995, 1996, 1997;

收稿日期：2004-05-08；接受日期：2004-08-02
基金项目：安徽省教育厅自然科学基金资助项目；滁州学院教授科研启动基金资助项目
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：xuefxu@cztc.edu.cn

Xu et al，1999，2001，2003；Du et al，2000）。即便是同一种个体，其成幼体之间摄食和同化能力的热敏感性也有所不同（Ji et al，1993，1995，1997；Xu et al，1999）。

蝘蜓（*Sphenomorphus indicus*）和蓝尾石龙子（*Eumeces elegans*）属石龙子科动物，为安徽省蜥蜴区系的重要成分（Chen，1991）。有关这两个种成体的食物同化的热依赖性已有报道（Ji et al，1996；Du et al，2000），但温度对其幼体食物同化的影响情况不甚明了。本文报道安徽滁州琅琊山蝘蜓和蓝尾石龙子幼体的热生物学数据，即温度对摄食量、食物通过时间、表观消化系数（apparent digestive coefficient，ADC）、同化效率（assimilation efficiency，AE）以及生长的影响。

1 材料与方法

1.1 动 物

研究用蝘蜓幼体［头体长（snout-vent length，SVL）< 52 mm］和蓝尾石龙子幼体（SVL < 55 mm）（Ji et al，2000；Du et al，2001）于2003年4月底捕自安徽滁州琅琊山（118°15′E，32°17′N）。捕获的动物带回滁州学院实验室，经测量、称重后，分别关养在蜥蜴专用玻璃缸（长×宽×高 = 1 000 mm ×800 mm×500 mm）内。缸的一端悬挂2只100 W灯泡，当环境温度低于24 ℃时灯泡自动开启，保证蜥蜴能将体温调节到喜好温度。动物能接受透过窗户的自然光照。玻璃缸内有草皮、石块等，以模拟该种的野外生境。提供足量的面包虫（larvae of *Tenebrio molitor*）和饮水（含复合维生素和儿童钙粉），保证动物全面的营养需求。

1.2 动物饲养及实验

实验于2002年5月9日至7月20日在恒温室内进行。室内用日光灯照明；光照周期为12L∶12D，每天07：00自动开启。将蝘蜓［SVL = (51.5±2.2) mm，42.8～54.4，n = 12］、蓝尾石龙子［SVL = (54.2±2.4) mm，43.9～57.3，n = 10］幼体禁食至无粪、尿排出后进行实验。实验温度分别设置为24、26、28、30和32 ℃。实验从24 ℃开始，蜥蜴被单个关养在实验缸（300 mm×150 mm×250 mm）内，饲喂2条标记面包虫（内含有长3 mm、直径0.3 mm的红色塑料标记线），随后动物在实验缸内能自由饮水和取食无标记的面包虫。及时收集动物排出的粪、尿，记录停止喂食时间，取走面包虫，待动物禁食至无粪尿排出后称重。收集到的粪、尿以及剩余的面包虫经65 ℃烘箱中干燥至恒重，分别称重，用HR-15型弹式氧弹仪（长沙高教仪器厂）测定能量。26～32 ℃的实验方法同上。

食物通过时间以蜥蜴食入至排出第一条标记线为准（Ji et al，1995；Xu et al，1999，2001；Du et al，2000）。摄食量以每天每克体重摄入食物的能量表示（Ji et al，1995，1996，1997；Xu et al，1999，2001；Du et al，2000），ADC = (I − F) × 100%/I（Waldschmidt et al，1986；van Damme et al，1991），AE = (I − F − U) × 100%/I（Kepenis & McManus，1974；Ji et al，1993），其中I为摄入食物能量，F为粪能，U为尿能。生长用特定温度条件下，平均每天体重变化来表示（Du et al，2000）。

1.3 数据统计分析

实验过程中死亡个体对应的数据不用于统计分析。所有数据在作参数统计分析前，分别检验其正态性（Kolmogorov-Smirnov test）和方差同质性（F-max test），食物通过时间经ln转换；ADC和AE数据经arc-sine转换后能用于参数统计分析。由于个体大小与比较的变量之间缺乏线性关系，协方差分析（ANCOVA）不适于比较检测变量的温度间差异。用one-way ANOVA和Tukeys多重比较来检验温度对摄食量、食物通过时间、ADC、AE和生长的影响。文中描述性统计值用平均值±标准误表示，显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$。

2 结 果

温度对蝘蜓幼体（$F_{4,51}$ = 33.21，P < 0.0001）、蓝尾石龙子幼体（$F_{4,40}$ = 7.57，P < 0.001）的食物通过时间有显著影响。24～30 ℃，蝘蜓和蓝尾石龙子食物通过时间随温度的升高而缩短，超过30 ℃基本不变（图1）。

温度对蝘蜓幼体的摄食量（$F_{4,51}$ = 10.58，P < 0.0001）、ADC（$F_{4,51}$ = 3.29，P < 0.02）、AE（$F_{4,51}$ = 4.75，P < 0.01）和生长（$F_{4,51}$ = 2.68，P < 0.05）有显著影响。30和32 ℃的摄食量和生长小于24～28 ℃的对应值；24～30 ℃的ADC、AE随温度升高而下降，但32 ℃时的对应值又升高（表1）。

温度对蓝尾石龙子幼体的摄食量（$F_{4,41}$ =

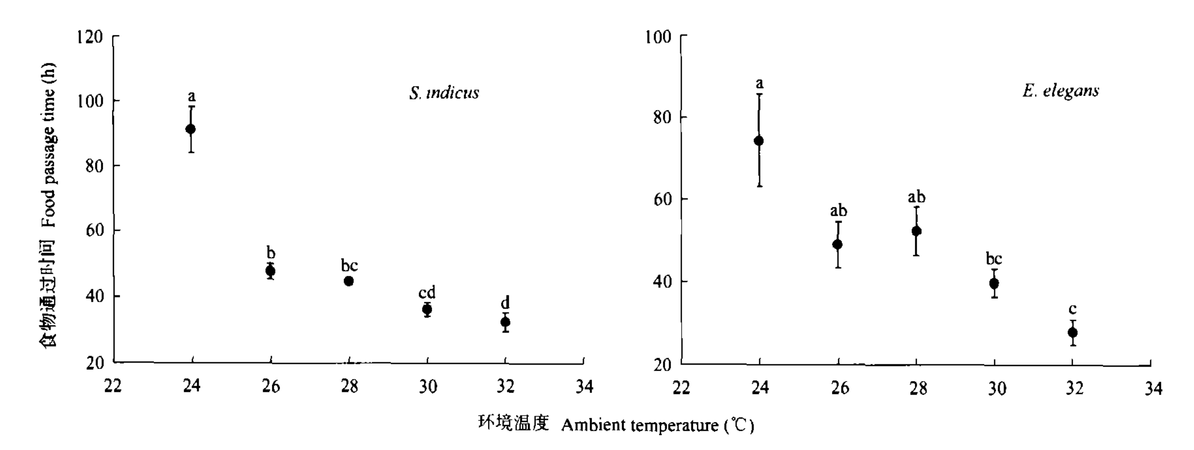


图 1 不同实验温度时蝘蜓和蓝尾石龙子幼体的食物通过时间

Fig.1 Food passage times of juvenile skinks, *Sphenomorphus indicus* and *Eumeces elegans* at different temperature

数据用平均值 ± 标准误表示，不同的字母表示差异显著（Tukeys 检验，α = 0.05），a > b > c > d［Data are expressed as mean ± standard error; means with different letter differ significantly (Tukeys test, α = 0.05), a > b > c > d］。

表 1 蝘蜓和蓝尾石龙子幼体的初始体重、摄食量、表观消化系数、同化效率和体重变化

Table 1 Initial body mass, food intake, apparent digestive coefficient, assimilation efficiency and body-mass change of juvenile *Sphenomorphus indicus* and *Eumeces elegans*

实验温度 Temperature (℃)	样本数 *n*	初始体重 Initial body mass (g)	摄食量 Food intake [J/(g·day)]	ADC (%)	AE (%)	体重变化 Body-mass change (mg/day)
蝘蜓（*Sphenomorphus indicus*）						
24	8	2.6 ± 0.3^{c}	505.0 ± 40.2^{a}	93.7 ± 0.3^{a}	88.4 ± 0.4^{a}	46.8 ± 6.3^{a}
		1.9 – 4.1	370.4 – 675.2	92.4 – 95.2	86.9 – 89.7	24.5 – 71.7
26	12	3.3 ± 0.2^{bc}	432.3 ± 38.5^{a}	92.2 ± 0.3^{a}	86.4 ± 0.3^{ab}	40.3 ± 8.6^{a}
		2.4 – 4.9	149.7 – 694.3	90.5 – 93.9	84.8 – 88.7	– 21.5 – 103.4
28	12	3.9 ± 0.3^{ab}	432.3 ± 31.8^{a}	91.0 ± 0.6^{a}	84.5 ± 0.7^{b}	36.1 ± 8.0^{a}
		2.9 – 5.5	216.4 – 603.4	87.0 – 93.9	78.8 – 87.3	– 8.7 – 78.8
30	12	4.4 ± 0.3^{ab}	305.1 ± 30.0^{b}	90.5 ± 0.3^{b}	84.4 ± 0.5^{b}	24.6 ± 5.5^{b}
		3.1 – 6.2	105.7 – 439.2	88.7 – 92.8	82.9 – 88.9	– 10.9 – 53.4
32	12	4.7 ± 0.3^{a}	247.2 ± 13.9^{b}	92.2 ± 1.1^{a}	87.7 ± 1.3^{a}	15.6 ± 7.4^{b}
		3.0 – 6.6	156.7 – 329.6	87.0 – 97.8	82.5 – 96.0	– 31.6 – 56.0
蓝尾石龙子（*Eumeces elegans*）						
24	8	2.5 ± 0.2^{d}	583.8 ± 23.1^{b}	92.5 ± 0.3^{a}	86.8 ± 0.4^{a}	49.3 ± 3.3^{b}
		1.6 – 3.1	522.8 – 725.3	91.4 – 94.2	85.6 – 89.7	29.6 – 57.7
26	10	2.9 ± 0.3^{cd}	691.2 ± 22.0^{a}	91.9 ± 0.3^{a}	85.7 ± 0.5^{a}	106.9 ± 9.0^{a}
		1.9 – 4.0	619.6 – 806.9	90.8 – 94.1	84.0 – 89.6	50.2 – 135.8
28	10	4.4 ± 0.4^{bc}	458.9 ± 22.6^{c}	91.3 ± 0.4^{ab}	85.0 ± 0.4^{a}	41.1 ± 8.4^{b}
		2.6 – 6.0	319.0 – 581.4	88.5 – 92.7	82.0 – 86.5	– 1.8 – 87.0
30	10	5.0 ± 0.4^{ab}	362.9 ± 12.1^{d}	90.3 ± 0.4^{bc}	82.3 ± 0.4^{b}	64.1 ± 8.3^{b}
		2.8 – 6.5	298.2 – 406.7	87.7 – 91.2	80.2 – 83.8	19.9 – 102.3
32	8	6.0 ± 0.6^{a}	264.7 ± 28.5^{e}	89.0 ± 0.8^{c}	80.3 ± 0.7^{b}	66.5 ± 7.2^{b}
		3.1 – 7.6	179.1 – 443.5	84.3 – 91.3	76.2 – 82.2	34.0 – 87.1

上标不同的平均值差异显著（Tukeys 检验，α = 0.05），a > b > c > d > e［Means with different superscripts differ significantly (Tukeys test, α = 0.05), a > b > c > d > e］。ADC：表观消化系数（Apparent digestive coefficient）；AE：同化效率（Assimilation efficiency）。

60.20，$P < 0.0001$）、ADC（$F_{4,41} = 10.20$，$P < 0.0001$）、AE（$F_{4,41} = 27.29$，$P < 0.0001$）和生长（$F_{4,41} = 11.08$，$P < 0.0001$）有显著影响。24 ~ 26 ℃，摄食量随温度升高而增加，26 ℃后，随温度升高显著下降；24 ~ 28 ℃ ADC、AE 大于 30 和 32 ℃，呈现出随温度升高而下降的趋势；26 ℃生长最快（表 1）。

3 讨 论

爬行动物食物通过时间的热依赖性存在明显的种类和种间差异。已有的研究资料显示食物通过时间的热依赖性存在 3 种关系模式：①食物通过时间随温度的升高而缩短，如侧斑美洲鬣蜥（*Uta stansburiana*）（Waldschmidt et al，1986）和北草蜥（*Takydromus septentrionalis*）（Ji et al，1996）；②食物通过时间在低温环境中随温度升高而缩短，高温中基本不变，如中国石龙子（*Eumeces chinensis*）（Ji et al，1995；Xu et al，1999）和成体蝘蜓（Ji et al，1997）；③食物通过时间在低温环境中随温度升高而缩短，高温中随温度升高而延长，如胎生蜥蜴（*Lacerta vivipara*）（van Damme et al，1991）、峡谷鬣蜥（*Sceloporus merriami*）（Beaupre et al，1993）、成体蓝尾石龙子（Du et al，2000）和山地麻蜥（*Eremias brenchleyi*）（Xu et al，2001）。蝘蜓幼体食物通过时间的热依赖性属第二种模式，与成体类似；蓝尾石龙子幼体食物通过时间的热依赖性也属第二种模式，与成体不同。

能量需求的季节变化、消化酶活性、食物通过时间以及摄入食物的数量和类型等因素决定蜥蜴 ADC 和 AE 数值大小（Ji et al，1993，1995，1996，1997；Harwood，1979；Beaupre et al，1993；Xu et al，1999；Du et al，2000）。就特定季节、摄食特定类型食物的爬行动物而言，ADC 和 AE 的变化更多地取决于消化酶活性和食物通过时间。在一定温度范围内，消化酶活性随温度的升高而增强，但温度过高酶活性减弱（Harwood，1979）；当温度低于一定值时，消化酶活性降低，肠蠕动频率和幅度下降，食物在消化道停留时间延长（van Damme et al，1991）。消化道酶活性高，食物通过时间长的蜥蜴呈现较大的 ADC 和 AE 值（Ji et al，1993，1995，1996，1997；Harwood，1979；Beaupre et al，1993；Xu et al，1999；Du et al，2000）。蝘蜓和蓝尾石龙子幼体分别在 24 和 26 ℃表现出食物通过时间长、摄食量大、生长快，并呈现较大的 ADC 和 AE 值的特点，与这两个温度下的酶活性相对较高有关。

蝘蜓和蓝尾石龙子成体摄食和同化能力的最适温度分别为 27（Xu et al，2003）和 30 ℃（Du et al，2000），本研究幼体摄食和同化能力的最适温度为 24 和 26 ℃，低于成体。反映了动物热需求以及对生境的利用存在成幼体之间的差异。因为幼体耐受高、低温的能力弱于成体（Ji et al，1995；Xu et al，1999），故很好地表达摄食和同化能力的最适温度低于成体。遗憾的是，本研究没有涉及幼体选择体温和运动表现的测试，因而哪种温度范围更适合其行为表现和生理功能较好地表达有待进一步研究。结合本研究结果以及成体蝘蜓（25.7 ℃，Ji et al，1997）和雌性成体蓝尾石龙子（26.8 ℃，Du et al，2000）的选择体温，推测 24 和 26 ℃分别是蝘蜓和蓝尾石龙子幼体行为表现和生理功能表达的适合温度。

参考文献：

Beaupre SJ, Dunham AE, Overall KL. 1993. The effect of consumption rate and temperature on apparent digestibility coefficient, urate production, metabolizable energy coefficient and passage time in canyon (*Sceloporus merriami*) [J]. *Func. Ecol.*, **7**: 272 - 280.

Chen BH. 1991. The Amphibian and Reptilian Fauna of Anhui [M]. Hefei: Anhui Publishing House of Science and Technology Press. 222 - 224. [陈壁辉. 1991. 安徽两栖爬行动物志. 合肥：安徽科学技术出版社. 222 - 224.]

Du WG, Yan SJ, Ji X. 2000. Selected body temperature, thermal tolerance and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in adult blue-tailed skinks, *Eumeces elegans* [J]. *J. Therm. Biol.*, **25**: 197 - 202.

Harwood RH. 1979. The effect of temperature on the digestive efficiency of three species lizards, *Cnemidophorus tigris*, *Gerrhonotua multicarinatus* and *Sceloporus occidentalis* [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, **63A**: 417 - 433.

Huey RB. 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles [A]. In: Gans C, Pough FH. Biology of the Reptilia, Vol. 12 [M]. London: Academic Press. 25 - 91.

Huey RB, Kingsolver JG. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance [J]. *Trends. Ecol. Evol.*, **4**: 131 - 135.

Ji X, Du WG, Sun PY. 1996. Body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on sprint speed and food assimilation in adult grass lizards, *Takydromus septentrionalis* [J]. *J. therm. Biol.*, **21** (3): 155 - 161.

Ji X, Du WG. 2000. Sexual dimorphism in body size and head size and female reproduction in a viviparous skink, *Sphenomorphus indicus* [J]. *Zool. Res.*, **21**: 349 - 354. [计 翔，杜卫国. 2000. 蝘蜓头、体大小的两性异形和雌性繁殖. 动物学研究，**21**: 349 - 354.]

Ji X, Sun PY, Du WG. 1997. Selected body temperature, thermal tolerance and food assimilation in a viviparous skink, *Sphenomorphus indicus* [J]. *Netherlands. J. Zool.*, **47** (1): 103 - 110.

Ji X, Zheng XZ, Xu YG, Sun RM. 1995. Several aspects of the thermal biology of the skink *Eumeces chinensis* [J]. *Acta. Zool. Sin.*, **41**: 268 - 274. [计 翔，郑向忠，徐永根，孙如明. 1995. 中国石龙子热生物学的研究. 动物学报，**41**: 268 -

274.]

Ji X, Zhou WH, He GB, et al. 1993. Food intake, assimilation efficiency, and growth of juvenile lizards, *Takydromus septentrionalis* [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, **105A**: 283-285.

Kepenis V, McManus JJ. 1974. Bioenergetics of young painted turtles, *Chrysemys picta* [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, **48A**: 309-317.

Nagy KA. 1983. Ecological energetics [A]. In: Huey RB, Pianka ER, Schoener TW. Lizard Ecology: Studies of a Model Organism [M]. Cambridge: Harvard University Press. 24-54.

Van Damme R, Bauwens D, Verheyen RF. 1991. The thermal dependence of feeding behaviour, food consumption and gut-passage time in the lizard *Lacerta vivipara* Jacquin [J]. *Func. Ecol.*, **5**: 507-517.

Waldschmidt SR, Jones SM, Porter WP. 1986. The effect of body temperature and feeding regime on activity, passage time, and digestive coefficient in the lizard *Uta stansburiana* [J]. *Physiol. Zool.*, **59**: 376-383.

Xu XF, Chen XJ, Ji X. 2001. Selected body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation and locomotor performance in lacertid lizards, *Eremias brenchleyi* [J]. *Zool. Res.*, **22**: 443-448. [许雪峰, 陈雪君, 计 翔. 2001. 雄性山地麻蜥选择体温、热耐受性及温度对食物同化和运动表现的影响. 动物学研究, **22**: 443-448.]

Xu XF, Wu YL, Zhang JL. 2003. Effect of temperature on energy requirement and food assimilation in the viviparous skink, *Sphenomorphus indicus* [J]. *J. Biol.*, **20** (1): 32-34. [许雪峰, 吴义莲, 张建龙. 2003. 环境温度对蝘蜓能量需求和食物同化影响的研究. 生物学杂志, **20** (1): 32-34.]

Xu XF, Zhao Q, Ji X. 1999. Selected body temperature, thermal tolerance and influence of temperature on food assimilation in juvenile Chinese skinks, *Eumeces Chinensis* (Scincidae) [J]. *Raffles. Bull. Zool.*, **47**: 465-471.

(上接第 390 页)